

RTS법의 개요 및 프로그램 소개

김 장 산[†], 김 용 찬^{*}, 오 명 도^{**}

[†] 두산건설(주), ^{*}고려대학교 기계공학과, ^{**}서울시립대학교 기계공학과

Introduction of RTS Method and Load Calculation Program

Kang-San Kim[†], Yongchan Kim^{*}, Myung Do Oh^{**}

ABSTRACT: This paper introduces the RTS method developed by the ASHRAE. In addition, a load calculation program was developed based on the RTS method and then the calculation logic and procedure are explained in detail. The developed program was designed to allow easy and precise predictions of the building load.

Key words: RTS method(RTS법), Building load calculation program(건물부하계산 프로그램)

기 호 설 명

- A : 창문 면적, m^2
- E_D : 직접 방사량
- E_d : 확산 방사량
- E_r : 지표면 방사량
- E_t : 표면에 입사되는 총 태양 복사열, W/m^2
- h_o : 외부 표면에서의 장파 복사와 대류에 의한 열전달계수, $W/(m^2K)$
- IAC : 내부차폐감쇄계수 (내부차폐 없으면 1.0)
- $q_{i,q}$: 현재 시간의 열취득, W
- $q_{i,q-n}$: n시간 전의 열취득, W
- q_q : 표면의 매 시간별 전도 열취득, W
- $q_{l,q-n}$: n시간 전, 표면에의 전도 열입력, W
- $Q_{r,\theta}$: 현재시간(θ)의 복사 냉방부하(Q_r), W
- $q_{r,\theta}$: 현재시간의 복사 열취득, W
- $q_{r,\theta-n}$: n시간 전의 복사 열취득, W
- r_o, r_l : 복사시간 인자

- $\langle SHGC \rangle_D$: diffuse solar heat gain coefficient
- $SHGC(\theta)$: direct solar heat gain coefficient
- $t_{e,q-n}$: n시간 전의 상당외기온도, $^{\circ}C$
- t_b : 인접한 공가의 평균 온도
- t_i : 조절된 공간의 온도
- t_{rc} : 가정된 일정 실내공기온도, $^{\circ}C$
- U : 열관류율, $W/(m^2K)$
- ΔR : 주변으로부터 입사되는 장파 복사와 외기 온도와 같은 온도를 가진 흑체로부터 방사되는 복사 사이의 차이, W/m^2 as a function of incident angle

그 리 스 문 자

- a : 표면의 태양복사 흡수율
- ϵ : 표면의 반구 방사력 (hemispherical emittance)

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-510-3341; fax: +82-2-510-3299

E-mail address: mtdia@doosan.com

1. 서론

ASHRAE Fundamental (2001)에 처음 소개된 RTS(Radiant Time Series)법은 HB(Heat Balance)법에서 파생된, 설계 냉방부하를 단순하게 계산하기 위한 방법이다. RTS법은 TFM, CLTD/CLF 법, TETD/TA 법과 같은 다른 모든 단순화된 방법(열 평형 방법이 아닌)을 효과적으로 대체할 수 있다. RTS법은 각 구성요소가 전체 냉방부하에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 개발되었다. RTS법은 최대 냉방부하 계산을 위해 적당하며, 제한적인 가정으로 인해 연간 에너지 시뮬레이션에는 부적합하다.

RTS에서 태양 복사, 창문을 통해 투과된 태양 열취득, 상당외기온도, 그리고 침입공기를 계산하는 방법은 이전의 TFM과 TETD/TA에서와 동일하다. 기존의 방법과 전도 열취득의 계산, 모든 열취득의 복사와 전도부분으로의 분할, 및 복사 열취득의 냉방부하로의 변환에서 차이점이 있다.

RTS 방법은 시간별 열취득에 24시간 시계열을 곱해서, 전도시간 지연과 복사시간 지연 영향을 나타낸다. 복사 시간 요소와 전도시간요소 라고 불리는 시계열계수(series coefficient)는 열평형 방법을 사용하여 구한다. 복사시간요소는 총 복사 열취득 대비 현재 시간 동안 냉방부하가 되는 복사 열취득의 백분율을 반영한다. 마찬가지로, 전도 시간 요소는 벽이나 지붕 외면의 열취득 대비 현재 시간 동안 냉방부하가 되는 열취득의 백분율을 반영한다. 이러한 시계열(series)은 서로 다른 구조에서 발생하는 시간 지연의 효과를 쉽게 비교할 수 있게 해준다. 이런 비교는 선택하는 사항들이 부하에 미치는 양적 차이를 설명할 수 있어서, 엔지니어가 부하를 추정하는데 판단을 적용하고 더 많은 정보가 포함된 가정을 할 수 있게 한다.

2. RTS 계산 절차

RTS법을 사용하여 각 부하인자 (전등, 사람, 벽, 지붕, 창문, 기구 등)의 냉방부하를 계산하는 일반적인 절차는 다음과 같다.

(1) 설계일의 부하인자를 통한 열취득을 24시간 단위로 계산한다.

- (2) 열취득을 복사와 대류 부분으로 분할한다.
- (3) 냉방부하로 변환되는 시간 지연을 나타내기 위하여, 열취득의 복사부분에 적당한 RTS를 적용한다.
- (4) 각 부하 인자의 매 시간별 냉방부하는 대류에 의한 열취득 부분과 시간지연 후의 복사 열취득 부분의 합이다.

각 인자의 매 시간별 냉방부하를 계산한 후, 부하들을 더하여 매 시간별 전체 냉방부하를 결정하고 공조시스템 설계를 위해 최대부하를 가진 시간을 선정한다. 여러 달에 대해 설계하는 경우에는 이 과정을 반복해서 최대부하가 일어나는 달을 결정한다.

2.1 창문의 열취득

일부 공간에서, 냉방부하에 주로 영향을 미치는 기후와 관련된 변수는 태양복사이다. 창문을 통한 열취득에는 다음 식들을 사용한다.

직접일사에 의한 열취득 q_b

$$q_b = AE_D SHGC(\theta) IAC \quad (1)$$

확산일사에 의한 열취득 q_d

$$q_d = A(E_d + E_r) <SHGC>_D IAC \quad (2)$$

전도에 의한 열취득 q_c

$$q_c = UA(T_{out} - T_{in}) \quad (3)$$

창문의 열취득 합계 Q

$$Q = q_b + q_d + q_c \quad (4)$$

2.2 외벽/지붕의 열취득

외부 표면을 통한 열취득은 주로 벽이나 지붕 구조체의 질량과 성질의 함수로 달라지게 된다.

2.2.1 상당외기온도차

벽이 드는 외부 표면의 상당외기온도(t_e)는 다음 식과 같다.

$$t_e = t_o + aEt / ho - \epsilon \Delta R / ho \quad (5)$$

태양복사의 강도가 높다면 지상에 있는 물체의 표면은 외기 온도보다 더 높은 온도를 가지게 된다. 따라서 그들의 장파 복사는 하늘로부터의 방사 강도가 낮은 것을 어느 정도 보상한다. 따라서 수직면에 대해서 $\epsilon \Delta R = 0$ 이라고 가정하는 것은 일반적이다.

2.2.2 전도시계열을 이용한 전도 열취득 계산

RTS법에서, 외벽과 지붕을 통한 전도는 전도시계열 (CTS)을 사용하여 산출된다. 벽과 지붕 외부의 전도 열입력은 다음과 같은 전도식에 의해 정의된다.

$$q_{l,q-n} = UA(t_{e,q-n} - t_{rc}) \quad (6)$$

벽이나 지붕을 통한 전도 열취득은 현재 시간과 지난 23시간의 전도시계열 동안의 전도 열입력을 사용하여 계산될 수 있다.

$$q_q = C_0 q_{i,q} + C_1 q_{i,q-1} + C_2 q_{i,q-2} + \dots \quad (7)$$

24개의 주기적인 응답계수를 전체 벽이나 지붕의 총괄 열전달계수(U-factor)로 나누면, 주기적인 응답계수는 전도시간계수 (CTS)로 보다 간단화 된다. 주기적인 응답계수(따라서 CTS)를 사용하여 계산된 벽이나 지붕의 열취득은 정상적이고 주기적인 조건을 가정하고 전도전달함수를 이용하여 설계냉방부하를 계산했을 때의 열취득과 동일하다.

2.3 내부표면을 통한 열취득

공조된 공간이 다른 온도를 가진 공간에 인접해 있을 때마다, 두 공간을 분리하는 물리적 부분을 통한 열전달이 고려되어야 한다. 열전달률은 다음과 같이 주어진다.

$$q = UA(t_b - t_i) \quad (8)$$

인접한 공간이 통상적인 건축물이고, 열원이 없고, 또한 그 자체는 태양 열취득이 크지 않다는 것 외에는 아무 것도 모르는 경우, $t_b - t_i$ 는 외부온도와 공조된 공간의 설계 건구 온도에서 3K를 뺀 온도와의 차이로 간주 될 수 있다.

2.4 냉방부하 계산

순간 냉방부하는 열 에너지가 어느 시점에 존 내부 한 지점의 공기로 대류되는 비율이다. 대부분의 열취득원은 대류와 복사를 통해 에너지를 전달한다. 복사열은 존에서 열물체들(thermal mass)에 의해 흡수되고 시간이 지나면 대류에 의해 공간으로 전달된다. 이 과정은 시간 지연과 감쇠효과를 가져온다. 반면에 열취득의 대류 부분은 열취득이 발생하는 시간에 즉시 냉방부하가 된다고 추측된다.

특정한 시간의 부하 요소의 냉방부하는 그 시간의 열취득의 대류 부분에 그 시간과 그전 23시간의 복사 열취득 중 시간 지연 후에 취득된 열을 더한 합이다. RTS 법은 RTS 계수인 복사시간인자를 사용하여 시간당 열취득을 시간당 냉방부하로 변환시킨다. 복사시간인자는 현재와 과거의 열취득을 근간으로 현재 시간의 냉방부하를 계산하는데 이용된다. 특정한 존에 대한 RTS는 그 존의 시간-의존 응답을 복사 에너지의 단일한 펄스로 준다. RTS는 각 시간당 존 공기로 대류되는 복사 펄스의 비율을 보여준다. 따라서 이전 시간 r_0 는 현재시간에 존 공기로 대류되는 복사펄스의 비율이고 r_1 은 그 전 시간 등을 나타낸다.

$$Q_{r,\theta} = r_0 q_{r,\theta} + r_1 q_{r,\theta-1} + r_2 q_{r,\theta-2} + r_3 q_{r,\theta-3} + \dots + r_{23} q_{r,\theta-23} \quad (9)$$

RTS에는 직접적으로 전달된 태양 열취득 (바닥, 가구에 분배될 거라 추측되는 복사 에너지)에 사용되는 태양열(solar) RTS, 다른 종류의 열취득 (모든 내부표면에 균일하게 분배될 거라 추측되는 복사 에너지)에 사용되는 비태양열(nonsolar) RTS이 포함된다. 비태양열 RTS는 사람, 전등, 기구, 벽, 지붕 및 바닥으로부터의 복사 열취득에 적용된다. 또한, 산란된 태양 열취득이나 내부 음영(브라인드, 커튼 등)을 가지고 있는 창문으로 부터의 직달 태양 열취득에 대해서는 nonsolar RTS를 사용한다.

3. RTS 프로그램 기능 및 특징

3.1 프로그램의 적용범위

- (1) 계산가능 위도 범위: 북반구 전지역
- (2) 냉방용 실내온도 범위: 15 ~ 30 °C DB
- (3) Cooling Load 계산 시각: 24시간
- (4) Software: Microsoft의 Excel 2000 이상
- (5) 표준 단위: SI 단위계 적용

3.2 계산 가능 범위

- (1) 계산 가능 실(Room) 수: 900개
- (2) AHU 1대당(Zone당) 담당실 수: 200개
- (3) System 수: 100개
- (4) Terminal Unit 수: 1,000개
- (5) 장비용량 선정이 가능한 System 종류

- 1) 정풍량 단일덕트 시스템 (CAV AHU 방식)
- 2) 변풍량 단일덕트 시스템 (VAV AHU방식)
- 3) 팬코일 유닛 방식 (FCU 방식)
- 4) 팬코일 유닛 + 정풍량 단일덕트 시스템 (FCU + CAV AHU 방식)
- 5) 팬코일 유닛 + 변풍량 단일덕트 시스템 (FCU + VAV AHU 방식)
- 6) 정풍량 단일덕트 재열 시스템 (CAV AHU with Reheat 방식)
- 7) 전외기 공조 시스템 (OAHU 또는 HVU 방식)
- 8) 팩케이지 에어컨 시스템 (PAC 방식)
- 9) 방열기/콘벡터 (Radiator / Convectore)
- 10) 배열회수 시스템 (Heat Recovery System)

- 3) 외기량 선정기준 임의선택
(인당 외기량/직접입력/급기량과 동일)
- 4) RSHF / 급기풍량 자동계산
- 5) 습공기선도상 상태변화 자동 작성
- 6) 송풍기 열 취득 자동계산
- 7) 장치용량/송풍기 동력 자동 계산
- 8) 실별 풍량 발란싱 시트 자동 작성
- 9) 시스템의 다이어그램 작성
- (5) 터미널 유닛 용량 선정 기능
 - 1) Zone에 포함할 실/부하 요소를 임의선택
 - 2) Zone별 Peak Load 자동집계
- (6) 각종 환기 Fan 용량 선정 기능
 - 1) 실별 배기 Fan 풍량 선정 및 집계
 - 2) 정압 계산 및 Fan Motor 용량 자동 계산
- (7) 장비 일람표 자동 작성 기능
 - 1) 공기 조화기 사양서 자동 출력
 - 2) Fan 사양서 자동 출력

3.3 프로그램의 주요 기능

본 프로그램은 신속하고 편리하게 정확한 냉난방부하를 계산하고 계산결과를 자동 분석하여 최적의 장비용량을 선정할 수 있도록 하기 위해 다음과 같은 기능을 부여하였다.

- (1) 설계 조건 및 기준 설정
 - 1) 외기/실내온습도 조건 자동 계산
 - 2) 구조체 열관류율값 (K-Value) 자동 계산
 - 3) 실내온도에 따라 인체발생열량 자동 보정
 - 4) 외기온습도 설계조건인 복수선택
 - 5) 부하계산 안전율 임의 지정
- (2) 냉난방 부하계산기능
 - 1) 방위별/시각별 냉난방부하계산
 - 2) Projection 에 대한 일사량 보정 계산
 - 3) 계산 적용 Data의 전체/일부의 변경 기능
 - 4) 입력된 Room의 자동 정열 기능
- (3) 부하집계 및 부하분석 기능
 - 1) 방위별/시각별 각실의 피크부하 자동집계
 - 2) 공조 Zone별 피크부하 자동집계
 - 3) 건물의 Block 피크부하 자동집계
(중복 사용실, 그래프 등 작성)
- (4) AHU 선정 및 System 분석 기능
 - 1) Zone에 포함할 실/부하 요소를 임의선택
 - 2) Zone별 피크부하 자동집계

3.4 프로그램의 특징

- (1) 사용상의 편의성 및 유용성
설계 순서에 따라 기 입력된 Data 와 입력에 필요한 각종 데이터를 화면에 나타내어 연계되는 후속 입력 작업에 바로 활용 가능하게 하여 작업을 용이하게 하였다. 또한, 출력 Form 은 엔지니어 체크 항목 및 계산 과정을 나타나도록 하여, 사용자의 검증이 용이하며, 엔지니어에 익숙한 양식이 되도록 하였다.
- (2) 신속성 및 효율성
활용하는 모든 Data를 Code화하여 용도/실명/계통 명칭 및 기준 Data를 반복해서 입력하지 않도록 하였으며 Code 값 한번의 변경으로 연결된 모든 Data가 따라서 변경되도록 하여 부하계산에 소요되는 시간이 최대한 단축되도록 하였다.
건축 계획의 변경(재료 두께 변경, 실면적 변경, 실용도 변경 등) 및 설계 기준 변경시 신속하게 입력 Data의 추가/수정/삭제가 가능하도록 하였으며 변경 결과를 스크롤바로 이동시키며 용이하게 검색할 수 있다. 또한 변경된 계산결과와 집계도 자동적으로 이루어지므로 변경되는 장비용량도 쉽게 선정할 수 있다.
장비용량 선정과 동시에 장비일람표를 출력할 수 있으므로 장비연결 배관에 설치되는 각종 밸

브, 트랩의 환경 선정을 용이하게 할뿐만 아니라 타 분야 협의용(전기 동력, 자동제어 설계, 방진, 소음 설계 및 견적용 등)으로 즉시 활용할 수 있으며 Air Balancing Sheets는 Duct 도면 작성 및 취출구 규격 선정시 신속 정확하게 활용할 수 있다.

계산에 활용한 입력 Data File과 출력물 File로 분리하여 저장할 수 있도록 구분되어 있어서 효율적인 관리가 가능하며, 출력물 File은 연산 Sheets상에 결과물을 나타내므로 타 용도의 계산시(환경 계산서 작성 등) 활용이 가능하다.

(3) 정확성

ASHRAE에서 새로운 부하 계산법으로 제시한 RTS법의 알고리즘을 준용하였기 때문에 계산결과가 정확하고 공기조화가 용량 선정에 필요한 습공기선도상 상태점 변화는 내장된 상태점 계산 프로그램으로 계산하므로 시스템 선정시 오류가 발생되지 않는다. Program의 실행 순서 및 실행 방법상의 오류 발생시와 숫자와 문자 등의 입력 Data가 규정된 범위를 벗어나게 입력하는 경우에는 에러 메시지와 입력 가능한 값이 화면에 표시되도록 하여 즉시 수정 입력할 수 있는 오류 입력 방지 시스템을 채택하고 있다.

부하 계산 결과로 부하 요소별 단위 면적당 부하값 및 부하 비율을 자동 분석할 수 있고, 시스템 용량 선정 Sheets상에도 단위 면적당 부하 계산값, 단위 면적당 공조 용량 및 환기 횟수 등이 자동 분석 표시되도록 하여 계산에 참여하지 않은 Engineer들도 경험치와 비교 검토 할 수 있도록 하였다.

4. RTS 프로그램의 입력

4.1 설계기준/열관류율 작성

(1) 설계 개요 입력

건물의 개요, 층별 규모 및 용도등 설계 관리에 필요한 데이터와 인체 발열량 계산에 필요한 자료를 입력한다.

(2) 부하계산 기준 입력

직접 계산에 사용되는 경도, 위도, 일교차, 내부 부하기준, 외기 온습도조건, 간벽 부하 기준을

입력한다. 특히 내부 부하기준과 간벽 부하기준은 Room 입력시 적용될 「인체,전등, 기기」 부하에 대한 기준과 비냉난방실과 면하는 벽,바닥의 온도차를 Code화 하여 Room Data 입력의 단순화 및 실별 오류 입력을 방지토록 하였다.

(3) 유리의 데이터 입력

유리의 K값, AC(감쇄 계수), SHGC 값을 입력

(4) 벽체, 지붕의 열관류율

재료별의 물성치 Data을 Program에 내장하였고 이 값을 이용하여 외벽/지붕/간벽의 열관류율을 계산하고 Code화 한다. CTS 형식 및 상당 외기 온도를 계산하기 위한 Emittance, Absorptance, Conductances 등을 입력한다.

4.2 Room 부하 계산

(1) 기본 Data 입력

- 1) 기본 입력 : Room No, 실명, 면적, 수량
- 2) 계산 적용 : 외기/실내 온도 조건, RTS Zone 침입외기, 안전율 등
- 3) Usage Profile : 사용 시간 입력

(2) Room Data 입력

- 1) 내부부하 : Code 적용 또는 인체,전등, 기기의 직접 입력으로 구분
- 2) 외부부하 : 유리/외벽/지붕/간벽의 방위 크기, Projection Data 입력

(3) Room Data 변경/ 화면 출력

4.3 공조기 선정

6개의 화면으로 구성되어 있으며 각 화면은 서로 연계되어 시스템 선정 작업을 수행하며, 선정 가능한 시스템은 다음과 같으며, 추가 기능으로 타 부하계산 방법으로 계산된 실내 냉난방 부하를 입력하여 공조기 선정 및 공기선도를 작성는 기능과 습공기 선도의 상태점 계산 및 작성 기능이 있다.

(1) 선정기준

공조기 선정의 기본 조건인 적용 시스템, 배열

회수기, 냉난방 코일, 가습기의 사용 유무 및 조건을 입력한다.

(2) System 담당부하

계산된 Room 부하에서 System 선정시 적용할 실과 부하 형태를 선택 입력하므로 공조기의 조닝 계획이 매우 쉽고, 변경, 추가시에도 Room 입력 Data 변경없이 공조기의 담당부하를 조정함으로써 계산에 적용할 부하량을 계산한다.

부하 형태는 6개로 구분하여 외벽, 유리, 지붕, 간벽, 내부, 침입외기 부하로서 적용 여부에 따라 각각 선택할 수 있으며, 천정속 공간을 이용한 Return 방식을 채택시는 전등 부하율을 입력함으로써 천정속과 실내로 배분되는 부하량을 조정할 수 있다 (급기량에 영향을 미침).

(3) 풍량 선정

담당부하에서 적용/계산된 부하를 이용하여 외기량, 실별 풍량계산, 취출공기의 상태점등을 계산한다. 냉방 적용 풍량 계산시 취출 공기의 온도차(ΔT), 실내온도, Fan의 온도상승(Fan 선정과 자동 연결), Reheating의 온도차의 변화에 따라 자동으로 취출 공기의 상태점을 변화시켜 사용자가 화면상 검증이 가능하다.

(4) Fan 선정

Fan의 형태, 내.외부의 정압계산, Fan 사양의 선정 기능으로 풍량선정시 Fan의 온도상승이 자동 연계하여 계산된다.

4.4 Terminal Unit/ Fan 선정

(1) Terminal Unit 선정

Room 부하에서 적용할 실과 부하 형태를 선택하여 기기별, Zone별로 입력한다.

(2) Fan 선정

풍량 선정은 환기 횟수, 직접입력, 발열량 기준으로 실별로 입력하며, 정압/동력은 Duct, 기기별로 입력하면 자동으로 집계 및 동력 계산을 수행한다.

4.5 건물 부하분석

건물 전체의 부하 요소별/시간별 Block Peak Load를 작성하고, Zone별로 담당 공조기, Terminal Unit를 선택하여 한 건물에서도 다양한 용도별로 구분된 부하분석을 수행한다.

5. 결론

건물의 냉난방부하 계산법과 적용되는 Data값은 실제 발생 부하와 일치되도록 하기 위해 오랜 시간에 걸쳐 연구되고 발전되어 왔다. 본 "공조부하계산 특별 위원회"에서는 보다 정확하고 편리하고 신속하게 새로운 부하계산법을 이용할 수 있도록 하는데 목표를 두고 본 RTS 법에 근간을 둔 RTS-SAREK 프로그램을 개발하였다. 계산 결과의 타당성은 ASHRAE Handbook의 계산 결과와 동일하게 나타나며, 수차에 걸친 검증과정을 통하여 확인할 수 있었다. 또한, 향후 사용자들로부터 제시되는 문제점들에 대해 계속 보완해 나갈 예정이다.

참고문헌

1. ASHRAE Handbook Fundamentals. 2001, 2005